

**PEMODELAN PERFORMA ENERGI  
PADA PROSES GASIFIKASI *REFUSE DERIVED FUEL (RDF)*  
DARI LIMBAH PADAT *HOME INDUSTRY AREN***

oleh :

**RIYADI MUSLIM  
K2513059**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan gelar Sarjana Pendidikan  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
Juli 2017**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sampah telah menjadi permasalahan global, dimana hampir semua negara di dunia mengalami dampak buruk yang disebabkan oleh sampah. Dirjen Pengelolaan Sampah, Limbah, dan Bahan Beracun Berbahaya Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Tuti Hendrawati Minarsih (Ernawati, J. dan Putra, Aji Y.K., 2017: 5 Maret) mengatakan, Indonesia memproduksi sebanyak 65 juta *ton* sampah pada tahun lalu. Jumlah itu naik dibanding 2015 sebanyak 64 juta *ton*. Sampah organik merupakan sampah yang dapat diperbaharui, sedangkan sampah anorganik adalah sampah yang tidak dapat diperbaharui. Kedua jenis sampah tersebut memiliki dampak yang sama bagi keberlangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Terlebih saat ini kita memasuki era industri, dimana sampah industri yang dihasilkan pun lebih kompleks, beragam, meluas, dan sulit ditanggulangi.

Limbah *home industry* merupakan salah satu jenis sampah yang cukup menjadi keresahan masyarakat. Pada umumnya *home industry* di Indonesia kurang memperhatikan Amdal (Analisis dampak lingkungan). Selain itu peran pemerintah dalam pengawasan kesehatan lingkungan untuk skala *home industry* juga masih rendah. Industri mi sohun aren di Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah merupakan salah satu contoh *home industry* yang luput dari perhatian. Setidaknya terdapat 137 pengrajin dengan hasil produksi berupa pati aren (bahan baku utama mi sohun aren) dengan produksi rata-rata limbah padat industri sejumlah 18.250 *ton/tahun* atau 5 *ton/hari* ( Nugraheni, R.S., et al., 2013: 31). Limbah aren berdampak serius bagi lingkungan desa. Selain aromanya yang tidak sedap, limbah aren juga mencemari pasokan air bersih desa.

Dampak dari limbah ini semakin terasa saat musim hujan datang, pasalnya aroma limbah menjadi 2 kali lipat lebih bau bahkan hingga tercium ke wilayah lain. Sebagai ilustrasi jika 137 pengrajin melakukan produksi di hari yang sama di musim hujan, tentu aroma tidak sedap ini akan menimbulkan masalah serius bagi kesehatan warga sekitar. Sebelumnya limbah aren dimanfaatkan oleh perusahaan jamur, namun setelah industri jamur yang memanfaatkan limbah padat aren mengalami kebangkrutan, akibatnya para pengusaha mi sohun mengalami kesulitan dalam mengelola limbah. Usaha pembuangan limbah yang saat ini dilakukan adalah dengan dibuang ke bantaran sungai dan di tepi jalan Desa atau di pematang sawah warga. Selain mengganggu estetika, limbah juga mulai mengganggu kualitas air persawahan setempat dan menurunkan peruntukan fungsi sungai sebagai saluran air hujan dan pengairan. Hal ini menyebabkan jalan menjadi kumuh dan banyak pengendara terganggu olehnya. Hingga saat ini belum ada upaya yang signifikan baik dari pemerintah maupun warga sendiri yang dapat menanggulangi masalah tersebut.

Limbah dapat menjadi musibah atau hadiah bergantung bagaimana cara memandang. Sampah datang sebagai masalah namun juga tantangan untuk manusia terus berkembang dan berinovasi. Limbah aren merupakan salah satu bahan baku biomassa yang apabila diberdayakan dengan benar maka akan memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi. Di Negara maju telah lama melakukan kajian dan implementasi mengenai pengolahan biomasa. Pasalnya di tengah krisis minyak dunia, negara maju menyadari pentingnya beralih pada energi alternatif. Keseriusan tersebut terbukti dengan banyaknya ilmu pengetahuan dan teknologi mengenai pengolahan sampah atau biasa disebut *waste management technology*. Teknologi pengolahan sampah memiliki beragam jenis, mulai dari skala mikro hingga skala makro. Teknologi pengolahan sampah memerlukan analisis potensi yang panjang dan matang serta untuk menghasilkan energi yang besar diperlukan investasi modal yang cukup tinggi. Umumnya skala mikro *home industry* tidak memiliki cukup modal untuk investasi teknologi pengolahan limbah.

Salah satu model pengolahan sampah yang telah digunakan terbukti memberikan solusi dan tidak memerlukan investasi besar adalah teknologi

Gasifikasi. Konsep utama Gasifikasi adalah melalui pembakaran atau *cumbustion*. Proses Gasifikasi ini dilakukan dalam ruang tertutup (*reaktor*) yang aman bagi lingkungan. Teknologi ini selain menghasilkan nilai kalor, juga menghasilkan berbagai jenis gas sintetis yang terbukti ramah lingkungan serta memiliki efisiensi cukup tinggi. Bahan baku yang digunakan dapat berupa limbah kasar, juga dalam model peletisasi. Energi biomasa dalam kasus ini dapat disebut juga *RDF* atau *Refuse Derived Fuel*. Limbah dalam bentuk *RDF* dinilai lebih efisien dan menguntungkan baik dari segi transportasi juga energi kalor yang dihasilkan.

Ghofar, dkk. (2017: 61) dari Lembaga Pusat Teknologi dan Sumberdaya Energi dan Industri Kimia Serpong, melakukan analisis simulasi dan estimasi kebutuhan energi sistem *Gasifier* dengan bahan baku batubara Sumsel dan Kalsel. Penelitian menggunakan *software Aspen Plus V.8.4* dengan mempertimbangkan kesetimbangan termodinamika. Kishore, A.K. & Ramanjaneyulu, K.A.V., (2015:1) melakukan penelitian yang sama, simulasi Gasifikasi biomasa menggunakan *Aspen Plus* dapat memprediksi produksi *Syntetic Gas (Syngas)* secara optimal. Peningkatan suhu inputan Gasifikasi dapat meningkatkan kualitas *Syngas* yang dihasilkan. Penelitian dilakukan secara general, perlu penelitian yang lebih spesifik sesuai kondisi lapangan di masyarakat yang lebih bermanfaat.

Analisis energi melalui pemodelan menggunakan *software* inovatif yang relevan perlu dilakukan untuk mengetahui potensi energi untuk penerapan teknologi selanjutnya. *Software* inovatif mampu menghitung dan menganalisis potensi energi menggunakan rumus energi dan parameter-parameter yang diperlukan. Setiap *software* juga dilengkapi berbagai fitur yang canggih dan tingkat kompleksitas tinggi. Jenis *Output* yang dapat diukur juga semakin beragam dan detail. Semua komponen dalam Gasifikasi seperti *reaktor*, *blower*, *cyclone*, *gas holder*, hingga *heat exchanger* tersedia dengan berbagai jenis dan parameter yang dapat ditentukan. Ada banyak jenis *software* inovatif yang dapat digunakan untuk menganalisis potensi energi bahan bakar, diantaranya *software Aspen Plus*, *@gasify*, *Chemkinpro*, *Echem*, *Hansys*, *Ansys*, *Gambit*, dan lain lain, baik yang berbayar maupun paskabayar. Berdasarkan latar belakang di atas diperlukan analisis potensi energi limbah aren melalui pellet *RDF* yang diharapkan mampu

mengatasi permasalahan lingkungan di Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten sekaligus menjadi nilai tambah ekonomis bagi masyarakat setempat.

### **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang masalah diatas maka dapat diidentifikasi masalah-masalah seperti tersebut berikut ini:

1. Sampah telah menjadi permasalahan global, dimana hampir semua negara di dunia mengalami dampak buruk yang disebabkan oleh sampah.
2. Limbah *home industry* merupakan salah satu jenis sampah yang menjadi keresahan dalam masyarakat.
3. Limbah aren berdampak serius bagi lingkungan desa.
4. Umumnya *home industry* tidak memiliki cukup modal untuk investasi teknologi pengolahan limbah.
5. Untuk merealisasikan teknologi Gasifikasi perlu dilakukan studi analisis potensi energi, guna memastikan potensi energi yang dihasilkan selaras dengan investasi yang dikeluarkan
6. Limbah aren Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten memiliki potensi energi biomasa yang perlu diteliti.
7. Perlu dilakukan analisis pemodelan performa energi *RDF* limbah aren Dusun Bendo, Ds. Daleman, Kec. Tulung, Kab. Klaten menggunakan *software* yang relevan.

### **C. Batasan Masalah**

Melihat banyaknya masalah yang terjadi penulis mencoba membatasi permasalahan agar penulis dapat lebih fokus dan lebih intens dalam menyelesaikan masalah. Adapun masalah yang akan diteliti adalah perlunya pemodelan performa energi *RDF* limbah aren Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten dengan bantuan *software* simulasi (*ASPEN PLUS*) untuk mendapatkan diskripsi potensi energi limbah aren dan parameter-parameter proses Gasifikasi limbah aren yang dapat menghasilkan energi yang paling optimal.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

Bagaimana pemodelan dan analisis performa energi *RDF* limbah aren Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten dalam proses Gasifikasi ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi energi limbah aren *home industry* Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten dalam bentuk pellet *RDF* melalui analisis pemodelan menggunakan *Software Aspen Plus V.8.8*.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini secara luas bermaksud untuk memberikan informasi dampak lingkungan dari limbah aren kepada masyarakat agar terpicu untuk melakukan perubahan ke arah yang lebih baik. Kedepanya, energi kalor yang dihasilkan oleh limbah aren dapat digunakan untuk menunjang pengolahan industri mi aren lebih lanjut. Inovasi pengolahan limbah alternatif yang ditawarkan dapat meningkatkan nilai guna dan nilai ekonomis bagi masyarakat setempat.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Pohon Aren**

Aren merupakan tanaman karbohidrat tinggi daerah iklim tropis. Tepung aren telah menjadi makanan pokok sebagian masyarakat Indonesia, jauh sebelum beras mulai mudah didapatkan. Pohon aren memiliki nama latin *Arenga Pinnata Wurm* termasuk tumbuhan berbiji tertutup dimana daging buah terdapat dalam batang. Tepung aren dapat digunakan untuk pembuatan aneka produk makanan, terutama produk yang sudah dikenal masyarakat luas, yaitu cendol, soun, bakmi, dan hun kwe (Lempang, Mod, 2012 : 38). Bahkan dewasa ini marak sebagai bahan baku sekunder bakso. Lahan tropis di Indonesia sangat cocok untuk tanaman pohon aren, tidak heran banyak investor dalam maupun luar negeri berbisnis budidaya pohon aren di Indonesia. Pohon aren ditanam dengan jarak tanam 4 x 8 m dan akan mulai berproduksi pada umur 7 tahun. Masa produksinya selama 7-8 tahun artinya, pohon aren akan mati secara alami pada umur 14-16 tahun. Dataran rendah maupun dataran tinggi tanaman ini mudah sekali tumbuh. Satu pohon aren setara dengan 1,2 kg gula aren sudah dimasak (Lasut, Marthen T., 2012: 2). Keuntungan petani berlaku kelipatannya, dimana semakin luas lahan dan semakin banyak jumlah tanaman yang ditanam semakin besar pula keuntungan yang didapat.

Pohon aren memiliki banyak manfaat mulai dari akar, batang, daun, hingga limbah yang dihasilkan dapat digunakan sebagai penunjang kebutuhan hidup manusia. Sama halnya pohon kelapa, tanaman ini mudah tumbuh di berbagai kondisi lahan di Indonesia.



Gambar 2.1. Batang Pohon Aren  
(Sumber : Lasut, Marthen T., 2012: 1)

## 2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses mengubah biomassa padat menjadi gas yang mudah terbakar. Gas tersebut umumnya mengandung senyawa karbon, hidrogen, dan oksigen dengan kelembaban tertentu. Dalam kondisi dapat dikontrol, proses ini ditandai dengan suplai oksigen yang rendah dan suhu tinggi, sebagian besar bahan biomassa dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas yang dikenal sebagai *producer gas*, yang terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>. Konversi biomassa padat menjadi bahan bakar gas secara termokimia ini disebut dengan gasifikasi (Fadhilah, Bagus R., 2017: 14)

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar dalam ruang tertutup (reaktor) untuk dimanfaatkan pada fase lain (*liquid nature gas*) (Sun, Ke., 2014: 18). Pada proses ini terjadi reaksi energi yang mengubah bahan bakar padat menjadi *gas producer* atau *Syngas* (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) dengan menggunakan komponen utama berupa: *blower* sebagai pemasok oksigen, *burner* sebagai pematik api, dan *reaktor* sebagai ruang pembakaran. Gas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, seperti : pembangkit listrik, *heat exchanger*, bahan bakar transportasi, *heater*, dan bahan kimia seperti: *ammonia*, *metana*, dan *urea*.



Jauh sebelum motor bakar bensin dan disel ditemukan, Gasifikasi telah ada sebagai nenek moyang mereka. Selain menghasilkan *gas producer/Syngas*, proses Gasifikasi biomassa juga menghasilkan produksi samping berupa *tar* yang menjadi masalah pada proses-proses hilir pemanfaatan gas. *Tar* yang terkondensasi dapat menyumbat saluran dingin pada rangkaian alat pembersihan gas atau *blower* hisap, hal ini sering dijumpai pada penerapan teknologi Gasifikasi terintegrasi dengan mesin diesel-genset (PLTD). Pada aplikasi *Syngas* sebagai bahan baku proses kimia produksi *metanol*, kualitas gas harus lebih tinggi dari pada gas produser. Untuk itu, setiap Teknologi Gasifikasi selalu dilengkapi *cyclone* sebagai penyaring *tar*. *Syngas* dengan kandungan gas baik memiliki kadar *tar* rendah serta memiliki nyala api yang baik. Terdapat 3 jenis Gasifikasi berdasarkan model reaktor yaitu : *Moving-bed / Fixed-bed Gasifier*, *Fluidised-bed Gasifier*, dan *Entrained* (Rezaian, J & Cherimisinoff, Nicholas P., 2005: 35) .

Proses gasifikasi dilakukan dalam suatu reaktor yang dikenal dengan gasifier. Jenis gasifier yang ada saat ini dapat dikelompokkan berdasarkan mode fluidisasi, arah aliran dan jenis gas yang diperlukan untuk proses gasifikasi. Reaktor berfungsi sebagai tungku tempat berlangsungnya proses gasifikasi. Ketika gasifikasi dilangsungkan, terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifikasi di dalam *Gasifier*. Kontak antara bahan bakar dengan medium tersebut menentukan jenis gasifier yang digunakan. Apabila dibedakan berdasarkan arah aliran fluidanya, reaktor *Gasifier* dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu, gasifikasi aliran searah (*Downdraft Gasifier*) dan gasifikasi aliran berlawanan (*Updraft Gasifier*). Pada *Downdraft Gasifier*, arah aliran udara dan bahan baku menuju ke bawah. Sedangkan pada *Updraft Gasifier*, arah aliran bahan baku ke bawah dan aliran udara justru berlawanan yaitu ke atas. Pada umumnya gasifikasi adalah proses pengubahan materi yang mengandung karbon misalnya batubara, minyak bumi, maupun biomassa ke dalam bentuk karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan mereaksikan bahan baku yang digunakan pada temperatur tinggi dengan jumlah oksigen yang diatur (Sun, K., 2014: 14).

### 3. *RDF (Refuse Derived Fuel)*

*RDF (Refuse Derived Fuel)* merupakan sampah yang diubah menjadi bahan bakar. Sampah memiliki kandungan energi yang apabila dimanfaatkan dengan benar dapat memudahkan kehidupan manusia. *RDF* dihasilkan dari pemisahan fraksi yang mudah terbakar (*combustible fraction*) dan fraksi sampah yang sulit dibakar (*non-combustible fraction*) dari sampah secara mekanik (Sun, K., 2014:17). *RDF* dikenal sebagai bahan bakar alternatif yang diproduksi dari fraksi sampah yang mudah terbakar dimana tersusun atas sampah plastik dan material lainnya seperti tekstil, kayu dan lain sebagainya. Menurut *Liu, J., et al.* (1996: 650), *RDF* adalah sampah yang mudah terbakar dan terpisahkan dari bagian yang sulit terbakar melalui proses pencacahan, pengayakan dan klasifikasi udara.

*RDF* dalam ASTM E 856 (Sari, Anugrah Juwita, 2012: 10) dibagi menjadi 7 kategori, yaitu *RDF-1* s/d *RDF-7*. *RDF-1* merupakan sampah murni yang berasal dari TPA yang digunakan langsung sebagai bahan bakar tanpa proses pemilahan. *RDF-2* disebut sampah partikel kasar dengan atau tanpa pemisahan logam besi (*ferrous metal*). *RDF-3* merupakan bahan bakar yang dicacah, berasal dari sampah perkotaan dan diproses untuk memisahkan logam, kaca dan bahan anorganik lainnya. *RDF-4* merupakan fraksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang diolah menjadi bentuk serbuk biasanya disebut dengan *dust RDF*. *RDF-5* biasanya disebut dengan *densified RDF* atau *d-RDF* merupakan fraksi sampah yang dapat dibakar yang kemudian dipadatkan menjadi bentuk *pellets*, *slags*, *cubettes* dan briket. *RDF-6* adalah *RDF* dalam bentuk cair atau *liquid RDF*. *RDF-7* merupakan *RDF* dalam bentuk gas, biasanya disebut dengan *synthetic gas RDF*.

### 4. *Software Aspen Plus*



Gambar 2.2. Logo *Aspentech*  
(Sumber : Reimers, C., et al., 2014: 1)

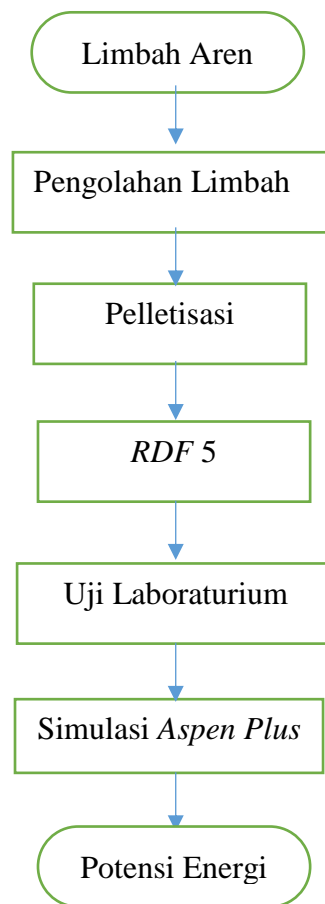
*Aspentech* merupakan perusahaan komersial bidang perangkat lunak industri yang berdiri sejak 1994 yang terus melakukan pengembangan dan inovasi pemodelan dan simulasi proses kimia. *Aspen Plus* merupakan *software* pintar penganalisis proses kimia yang digunakan oleh sebagian besar perusahaan kimia terkemuka, baik industri biokimia maupun industri polimer yang memiliki performa tinggi, aman, dan fasilitas yang lengkap dibutuhkan bagi perusahaan. *Aspen Plus* merupakan suatu program simulasi yang menggunakan hubungan antara besaran fisika seperti neraca massa, neraca panas, kesetimbangan termodinamika, persamaan kecepatan untuk memprediksi performa suatu proses seperti sifat aliran dan kondisi operasi ukuran alat.

*Software Aspen Plus* telah banyak digunakan bagi perusahaan-perusahaan profit maupun akademisi internasional guna mensimulasikan proses kimia dalam skop yang luas, mulai dari industri minyak, material, *heat exchanger*, pirolisis biomassa, Gasifikasi, dan masih banyak lagi. *Software* ini juga mampu digunakan dalam kondisi *steady state* dalam proses kontrol material padat (Preciado, J., 2012: 4925). Bagaimanapun ada banyak material dan proses kimiawi yang dapat disimulasikan dengan *software* ini mulai dari batu bara, biomassa produk makanan, MSW, sampah kertas (Liu, J. et al., 1996: 650), berbagai gas dan juga proses Gasifikasi itu sendiri (Emun, F., et al., 2011: 331) (Preciado, J., 2012: 4924).

*Aspen Plus* memiliki fitur yang kompleks dan beragam, serta detail analisis yang ketat dibanding *software* yang lain ([aspentech.com](http://aspentech.com)). Keuntungan *Aspen Plus* diantaranya : dapat melakukan analisis usaha atau percobaan dan *scale up*, cepat mendapatkan *performance* dari *flowchart* proses dan *feedback*, mampu sintesis bahan dan diperoleh desain yang optimum, meningkatkan fleksibilitas dan sensitivitas desain alat. Kerugian *Aspen Plus* adalah jangan memberi kepercayaan yang besar terhadap alat simulasi, karena hasil perhitungan hanya baik untuk masukan yang diberikan, seseorang bisa yakin terhadap hasil hitungan tapi tidak bisa meyakinkan orang lain terhadap hasil hitungan. Simulasi juga dapat digunakan untuk mengontrol proses industri yang

sedang berjalan, sehingga konten perubahan yang terjadi dapat diamati dengan cepat serta *up to date*.

### B. Kerangka Berfikir



Gambar 2.3. Kerangka Berfikir

### C. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah dan kerangka berfikir yang telah dipaparkan di atas, maka dapat ditarik hipotesis bahwa pengolahan limbah *home industry* aren menjadi bahan bakar pellet *RDF 5* (*Refuse Derived Fuel*) Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten memiliki potensi energi yang besar.

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

##### **A. Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di area industri rumahan (*home industry*) aren Dusun Bendo, Desa Daleman, Kec. Tulung, Kab. Klaten. Eksperimen uji analisis *ultimate* dan *proximate* di Laboratorium TekMIRA ESDM Bandung. Pembuatan *RDF* 5 di Bengkel Las Mesin JPTK UNS, dan proses analisis data menggunakan *software Aspen Plus V.8.8* dilakukan di Bengkel Pemesinan JPTK UNS.

##### **B. Rancangan/Desain Penelitian**

Rancangan penelitian ini kami susun dengan urutan sebagai berikut :

1. Konsultasi Judul dan Penelitian : Januari – Februari 2017
2. Pengajuan Judul : 15 Februari 2017
3. Penyusunan Proposal Skripsi : 15 Februari – 7bMaret 2017
4. Seminar Proposal : 08 Maret 2017
5. Revisi Proposal Skripsi : 09 – 31 Maret 2017
6. Mengajukan surat Penelitian : 4 April 2017
7. Observasi dan Penelitian : 4 April – 17 Juni 2017
8. Penyusunan Laporan : 17 Juni – 27 Juli 2017
9. Ujian Skripsi : 28 Juli 2017
10. Revisi : 28 Juli – 12 Agustus 2017

##### **C. Populasi dan Sampel**

Populasi merupakan keseluruhan subjek dari penelitian yang dapat berwujud semua kasus kejadian, orang, hal ataupun yang lain yang memiliki satu atau beberapa karakteristik yang sama. Populasi penelitian ini adalah semua limbah padat aren yang ada di Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten.

Sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Bila populasi besar, peneliti tidak mungkin mempelajari semua yang ada pada populasi, misalnya karena keterbatasan dana, tenaga dan waktu, maka peneliti dapat menggunakan sampel yang diambil dari populasi itu. Apa yang dipelajari dari sampel itu, kesimpulannya akan dapat diberlakukan untuk populasi. Untuk itu sampel yang diambil dari populasi harus betul-betul representatif (mewakili), jadi sampel yang penulis gunakan adalah limbah padat aren *home industry* milik bapak Nurdin salah seorang pengrajin aren di Dusun Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten.

#### **D. Teknik Pengambilan Sampel**

Teknik pengambilan sampel yang penulis gunakan adalah *random sampling*. Penulis mengambil secara acak sampel dari beberapa hasil limbah aren milik warga untuk kemudian diuji lebih lanjut. Teknik pengambilan sampel ini diberi nama demikian karena di dalam pengambilan sampelnya, peneliti “mencampur” subjek-subjek di dalam populasi sehingga semua subjek dianggap sama. Dengan demikian maka peneliti memberi hak yang sama kepada setiap subjek untuk memperoleh kesempatan (*chance*) dipilih menjadi sampel. Oleh karena hak setiap subjek sama, maka peneliti terlepas dari perasaan ingin mengistimewakan satu atau beberapa subjek untuk dijadikan sampel.

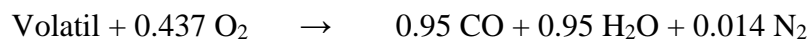
#### **E. Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data merupakan langkah yang paling utama dalam proses penelitian, karena tujuan utama dari penelitian adalah mendapatkan data. Teknik pengumpulan data yang diperlukan disini adalah teknik pengumpulan data mana yang paling tepat, sehingga benar-benar didapat data yang *valid* dan *reliable*. Penulis melakukan studi eksperimental melalui lembaga pengujian terakreditasi. Adapun beberapa data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut : Data Parameter uji simulasi energi, hasil studi eksperimental *RDF*, model reaksi kimia, dan model simulasi yang digunakan.

## F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan metode simulasi *software Aspen Plus V.8*, dimana data dari hasil pengujian dijadikan inputan parameter pada *software*. Setelah data masuk pada program, maka data akan diolah dalam bentuk besaran angka. *Output* program yang dibuat dibatasi berupa energi kalor yang dihasilkan. Program yang dibuat juga dapat berbentuk dalam sebuah tabel serta dapat dikonversi ke bentuk grafik dan diagram. Adapun secara kimiawi proses kimia Gasifikasi adalah :

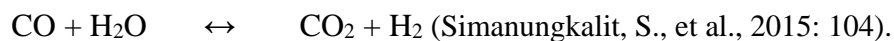
Reaksi dekomposisi volatil



Reaksi Karbon

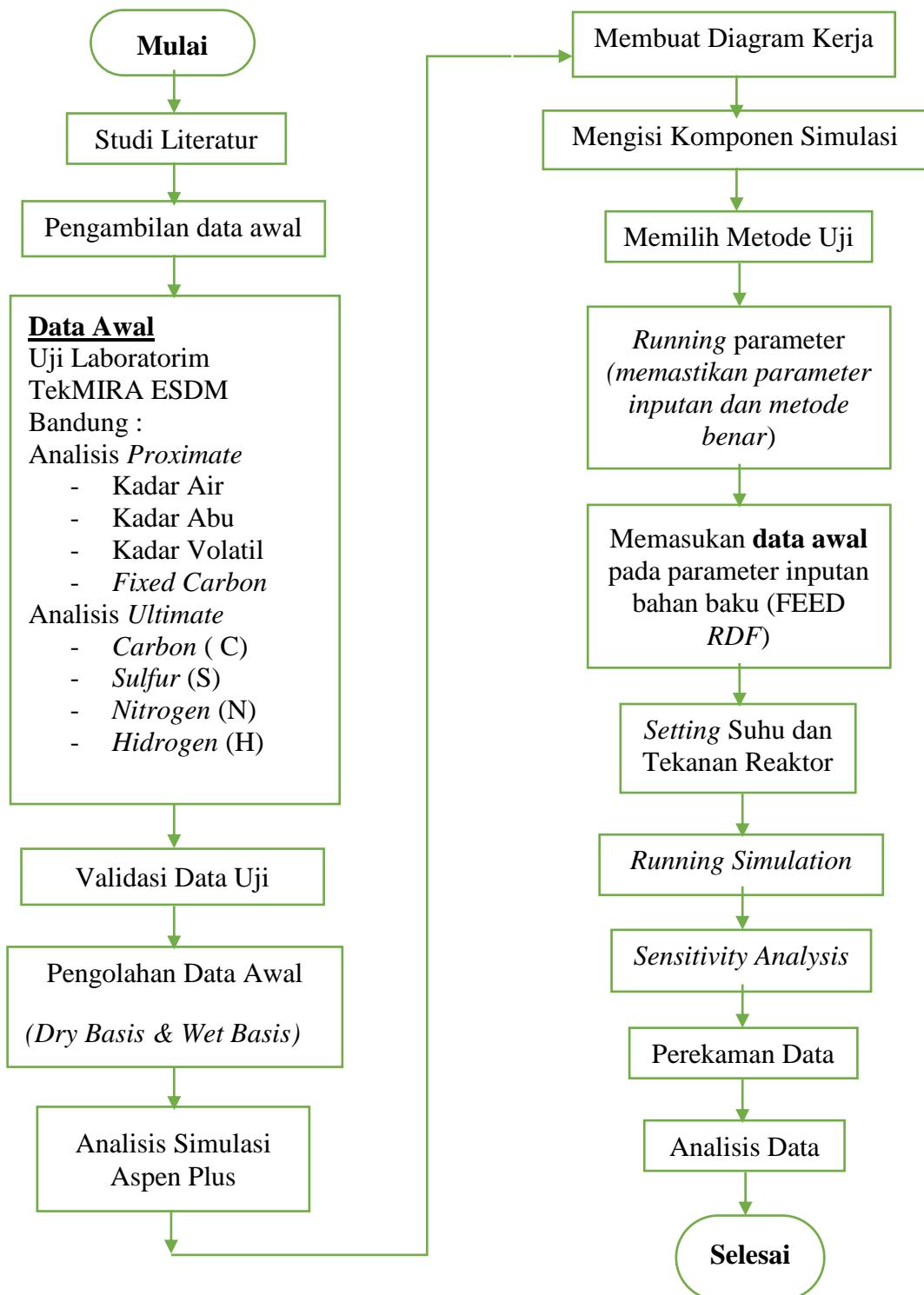


Reaksi fase gas



## G. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini bagi menjadi tiga tahap saling berkesinambungan. Tahap awal penelitian, mencari dan menemukan masalah, studi pustaka, menentukan instrumen penelitian, menentukan pendekatan yang digunakan dan menyusun Hipotesis. Tahap pelaksanaan, diawali dengan tahap pengumpulan data, Pemilihan data, serta melakukan analisis dan pengolahan data. Tahap akhir, tahap ini yang dilakukan adalah tahap pelaporan, dimana dari masalah yang ada kemudian analisis data yang sudah dilakukan dituangkan dalam bentuk laporan akhir sebagai kesimpulan atau jawaban atas hipotesis yang ada. Dalam penelitian kuantitatif tahap akhir dtuangkan dalam bentuk tabel dan grafik. Adapun secara rinci prosedur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Prosedur Penelitian



## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN**

#### **A. Deskripsi Data**

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan potensi pembentukan *Syngas* atau *Syntetic gas* pada limbah pada *home industry* aren melalui metode simulasi dengan menggunakan *software ASPEN PLUS V.8.8*. Data pokok pada penelitian ini adalah limbah padat *home industry* aren yang telah melalui proses peletisasi dan *treatment* menjadi *RDF 5 (Refuse Derived Fuel)*. Data baku telah melalui tahapan uji eksperimental berupa analisis *ultimate* dan analisis *proximate* oleh Laboratorium Uji TekMIRA (Teknologi Minyak dan Mineral) Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Bandung, sehingga tingkat validitas data dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Gasifikasi merupakan teknologi konversi bahan bakar menjadi LNG (*Liquid Natural Gas*) salah satunya dalam bentuk *Syngas*. Untuk merealisasikan produk ini penulis telah melakukan *pra-research* dengan mengacu pada literasi baik nasional maupun internasional. Berdasarkan penelitian yang dilakukan penulis telah menentukan jenis Gasifikasi dan reaktor yang digunakan dalam proses ini.

#### **1. Penentuan Jenis Gasifikasi**

Terdapat 3 jenis Gasifikasi yaitu : *Moving-bed / Fixed-bed Gasifier*, *Fluidised-bed Gasifier*, dan *Entrained Gasifier*. Ketiganya memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Berdasarkan literasi penulis telah melakukan pra-desain dan perancangan dengan skema Gasifikasi menggunakan *Moving-Bed Gasifier*. Bahan bakar bergerak turun di dalam *Gasifier* seperti aliran *plug flow*, sehingga model ini disebut sebagai *Moving-bed* (bed bergerak). *Gasifier* tipe ini bisa dibangun dengan harga murah dan dengan ukuran yang relatif kecil, sehingga jenis *Gasifier* ini yang banyak dibangun di seluruh dunia. Konstruksi tipe ini cukup sederhana dan tidak memerlukan waktu pengerjaan yang lama. Adapun dimensi *Gasifier* dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1. Spesifikasi *Gasifier*

No.	Parameter	Ket.
1.	Jenis	<i>Moving-Bed Gasifier</i> atau <i>Fixed Bed Gasifier</i>
2.	Tipe	<i>Up-Draft</i> *
3.	Diameter Reaktor	40 cm
4.	Tinggi Reaktor	100 cm
5.	Volume Reaktor	125 Lt
6.	Pipa Penghubung	Hollow Besi 1 Dim
7.	<i>Feed</i>	Atas
8.	<i>Filter</i>	Permanen
9.	<i>Blower</i>	¼ PK
10.	Siklon	D : 5 cm, T : 15 cm
11.	<i>Burner</i>	1 Dim

Keterangan:

\* *Up-draft*: Merupakan salah satu jenis tipe *Gasifier* ditandai dengan letak gas keluar (*exaush gass*) berada sisi atas reaktor.

## 2. Pemodelan Gasifikasi

*Gasifier* yang digunakan adalah tipe *Up-draft*. *Gasifier* jenis ini sangat fleksibel baik dalam skala kecil, menengah dan besar. *Syngas* merupakan hasil proses reduksi melewati daerah pirolisis dan membawa kandungan volatil beserta abu keluar melalui pipa keluar *Gasifier*.

Tabel 4.2. Kelebihan dan Kekurangan Tipe *Up-Draft*

Tipe <i>Gasifier</i>	Kelebihan	Kekurangan
<i>Up-draft</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mekanismenya sederhana</li> <li>- Hilang tekan rendah</li> <li>- Efisiensi panas baik</li> <li>- Kecenderungan membentuk terak sedikit</li> <li>- Arang (<i>charcoal</i>) habis terbakar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensitif terhadap <i>tar</i> dan uap bahan bakar</li> <li>- Memerlukan waktu <i>start up</i> yang cukup lama untuk mesin <i>internal combustion</i></li> </ul>

Kandungan *tar* tipe *Up-draft* lebih besar daripada tipe *Downdraft* konvensional, akan tetapi optimalisasi suhu temperatur *aproache* lebih rendah sehingga dapat menghasilkan *Syngas* lebih cepat. Pada *Updraft Gasifier*, udara masuk melalui bagian atas *Gasifier* bersamaan dengan bahan bakar yang masuk. Proses ini terjadi secara berlawanan arah (*counter current*). Gas produser yang dihasilkan

keluar dari bagian atas sedangkan abu diambil di bagian bawah. Reaksi pembakaran (oksidasi) terjadi diikuti reaksi reduksi (proses Gasifikasi) kemudian gas produser menembus unggun bahan bakar menuju ke daerah yang memiliki temperatur lebih rendah. Untuk lebih jelasnya kelebihan dan tipe Gasifikasi tersebut dirangkum dalam tabel 4.2 di atas.

### 3. Unit Operasi

#### a. Komponen Inputan Gasifikasi

Pemodelan ini mensimulasikan senyawa bahan baku (limbah aren) dalam basis massa kering (adb = *air dried basis*) dari hasil eksperimen analisis *ultimate* dan analisis *proximate* sebagai inputan proses reaksi Gasifikasi. Komponen inputan Gasifikasi dibagi atas tiga jenis, yaitu : *Solid*, Konvensional, dan Non Konvensional. Senyawa *Solid* disebut juga sebagai senyawa padatan, senyawa konvensional adalah berupa senyawa baku yang memiliki nomor reaksi, sedang non konvensional adalah senyawa yang tidak memiliki struktur atom seperti *tar*, *ash*, dan *char*. Komponen yang terlibat dalam proses pemodelan ini dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini :

Tabel 4.3. Komponen Inputan Gasifikasi

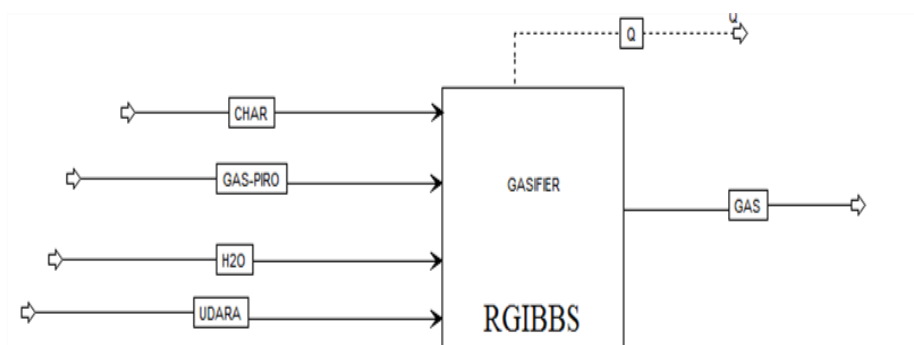
ID	Type	Name	Formula
O <sub>2</sub>	<i>Conventional</i>	<i>Oxygen</i>	O <sub>2</sub>
CO	<i>Conventional</i>	<i>Carbon-Monoxide</i>	CO
H <sub>2</sub>	<i>Conventional</i>	<i>Hydrogen</i>	H <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub>	<i>Conventional</i>	<i>Carbon-Dioxide</i>	CO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> O	<i>Conventional</i>	<i>Water</i>	H <sub>2</sub> O
CH <sub>4</sub>	<i>Conventional</i>	<i>Methane</i>	CH <sub>4</sub>
N <sub>2</sub>	<i>Conventional</i>	<i>Nitrogen</i>	N <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> S	<i>Conventional</i>	<i>Hydrogen-Sulfide</i>	H <sub>2</sub> S
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> *	<i>Conventional</i>	<i>Benzene</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
C	<i>Solid</i>	<i>Carbon-Graphite</i>	C
S	<i>Solid</i>	<i>Sulfur</i>	S
<i>RDF</i>	<i>Non Conventional</i>	.....	.....
<i>Dry-RDF</i>	<i>Non Conventional</i>	.....	.....
<i>Char</i>	<i>Non Conventional</i>	.....	.....
<i>Ash NC</i>	<i>Non Conventional</i>	.....	.....

\*C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> : menunjukkan jumlah kandungan *tar*

### b. Proses Deskripsi

Proses Gasifikasi tidak terbatas pada satu proses reaksi, akan tetapi berhubungan erat dengan metode dan teori yang digunakan. Setiap metode tetap menyesuaikan kondisi lingkungan dengan batasan parameter tertentu. Penulis menganalisis produksi *Syngas* melalui skema perhitungan energi *Gibbs* minimum. Perhitungan energi *Gibbs* minimum diasumsikan terjadi reaksi oksidasi dan reduksi (Gasifikasi). Pada skema ini, stokiometri reaksi tidak ditentukan. Penentuan komposisi reaksi menggunakan pendekatan energi *Gibbs* minimum gas keluaran *Gasifier*.

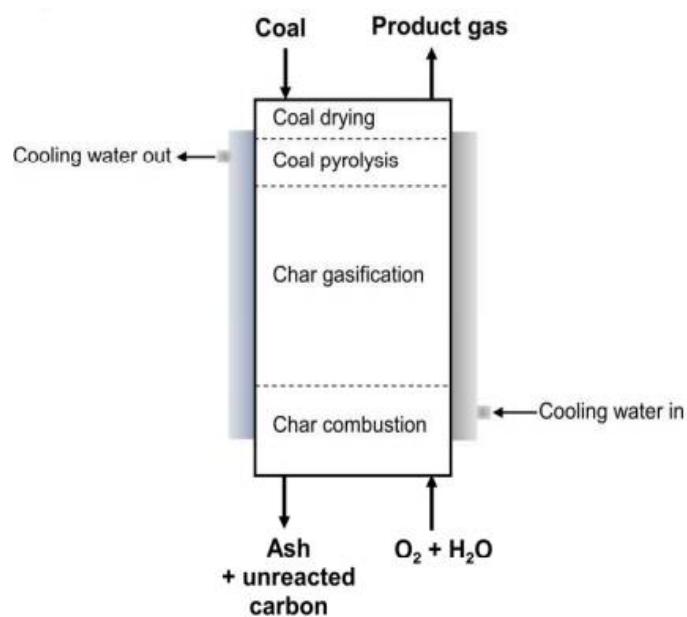
Pendekatan ilmiah berdasarkan teori *Gibbs* dimana kalkulasi matematika diperlukan untuk memprediksi jumlah konversi limbah aren menjadi *Syngas* paling optimal. Perhitungan energi *Gibbs* minimum sangat sulit dihitung jika dilakukan secara manual. *Aspen Plus* merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk menghitung energi *Gibbs* minimum keluaran reaktor. *Tool Aspen Plus* yang bisa digunakan untuk menghitung minimum energi *Gibbs* adalah reaktor *Gibbs*. Perhitungan ini dilakukan dengan memvariasikan variabel bebas dan menjaga variabel lainnya konstan.



**Gambar 4.1.** Skema Perhitungan Energi *Gibbs* Minimum.

Komponen utama Gasifikasi adalah adanya reaktor sebagai ruang konversi bahan baku menjadi *Syngas*. Secara komplek, proses reaksi yang terjadi pada lingkungan reaktor memiliki 4 tahapan reaksi. Tahap ini melalui 4 proses alir, yaitu : *Drying* (pengeringan), *Pyrolysis*, *Char Gasification* (oksidasi), dan *Char Combustion* (reduksi). Bahan dasar *RDF* akan bereaksi dengan *oksigen* dan  $H_2O$  untuk menghasilkan  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  dan

Hidrokarbon lainnya yang termasuk di dalamnya. Umpam akan akan masuk dari atas, dan berpindah ke bawah secara *counter flow* di bawah tekanan gravitasi. Sisa pembakaran akan tertekan kebawah serta *Syngas* yang diproduksi dalam bentuk *vapor* naik ke atas melalu pipa *outlet* untuk kemudian difilter oleh *cyclon* dan berakhir dalam bentuk gas murni pada *burner*. Hal ini ditandai dengan keluarnya asap yang berisikan gas (*Syngas*) yang dapat menjadi api apabila terjadi gesekan dengan pematik.



Gambar 4.2. Skematik Diagram Konversi Batubara  
(Sumber : Fadhillah, Bagus R., 2017: 24 )

### c. Properti Pemodelan

Pemodelan ini menggunakan properti *method* IDEAL (Ramzan, N., et al., 2011: 35) dalam mencampur dan mereaksikan komponen konvensional dan komponen CISOLID. Model HCOALGEN dan DCOALIGT digunakan untuk mengukur *enthalpy* dan *density* komponen non konvensional secara terstruktur. Parameter HCOALGEN membutuhkan beberapa atribut komponen berdasarkan analisis *Ultimate* (ULTANAL), analisis *Proximate* (PROXANAL), serta analisis komposisi sulfur pada *RDF* (SULFANAL). Semua metode itu dapat ditemukan pada *software Aspen Plus*. Adapun yang

disebut analisis *ultimate* terdiri dari Karbon (C), Belerang (S), Hidrogen (H<sub>2</sub>), Nitrogen (N<sub>2</sub>), dan Oksigen (O<sub>2</sub>). Analisis *proximate* terdiri dari kadar air, karbon fix, kadar volatil dan abu. Metode analisis mengacu pada analisis pengujian dan simulasi batu bara. Analisis data *RDF 5* dan jumlah gas yang dihasilkan mengacu pada kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi.

Inputan terdiri dari dua sampel, yaitu: limbah padat *home industry* aren murni dalam bentuk *RDF 5* murni, dan limbah padat *home industry* aren campuran antara limbah aren dan tempurung kelapa dalam bentuk *RDF 5* campuran (*mixed*). Data dibedakan dalam dua jenis perlakuan yaitu *dry basis* (basis kering) dengan asumsi perolehan data berdasarkan massa kering, sedangkan data perlakuan *wet basis* (basis basah) berdasarkan hitungan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Senyawa Wet Basis (\%)} &= \text{Dry Basis (\%)} \times (100 \% - \text{Moisture}) \\ \text{Wet Basis C} &= 38,7 \% \times (100 \% - 13,37 \%) \\ &= 38,7 \% \times 86,63 \% \\ &= 33,56 \%\end{aligned}$$

Semua data senyawa diukur dengan rumus yang sama, ditunjukkan dalam bentuk analisis *ultimate* dan analisis *proximate* sebagaimana nampak pada tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4. Analisis *Ultimate* dan Analisis *Proximate*

ANALISIS PROXIMATE	Dry Basis		Wet Basis	
	MURNI	MIXED	MURNI	MIXED
<i>Moisture Air Dried</i>	13,37	10,37	11,58	9,29
<i>Ash</i>	3,27	3,6	2,83	3,23
<i>Volatile Matter</i>	72,27	73,08	62,61	65,50
<i>Carbon Fixed</i>	11,09	12,96	9,61	11,62
ANALISIS ULTIMATE				
<i>Carbon</i>	38,74	42,36	33,56	37,97
<i>Oksigen</i>	51,25	47,35	44,40	42,44
<i>Hydrogen</i>	6,41	6,43	5,55	5,76
<i>Nitrogen</i>	0,26	0,2	0,23	0,18
<i>Sulfur</i>	0,07	0,06	0,06	0,05

## d. Reaksi

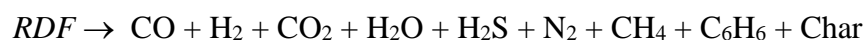
1) *RDF Drying*

*RDF Drying* merupakan proses pengeringan bahan bakar (*RDF*) dengan mengurangi kadar air terkandung pada material non konvensional. Proses pengeringan disebut pula proses pemisahan bahan bakar padat diuapkan oleh panas yang diserap dari proses oksidasi. Reaksi ini terletak pada bagian atas reaktor dan merupakan zona dengan temperatur paling rendah di dalam reaktor yaitu di bawah 150°C. Proses pengeringan ini sangat penting dilakukan agar pengapian pada *burner* dapat terjadi lebih cepat dan lebih stabil.

## 2) Pirolisis

Tahap kedua pada Gasifikasi adalah pirolisis, dimana bahan bakar mengalami proses pemecahan struktur dengan menggunakan sedikit oksigen melalui pemanasan menjadi gas. Pada pirolisis, pemisahan *volatile matters* (uap air, cairan organik, dan gas yang tidak terkondensasi) dari arang atau padatan karbon bahan bakar juga menggunakan panas yang diserap dari proses oksidasi. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada suhu  $T : 700^{\circ}\text{C}$ . Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi temperatur, tekanan, dan komposisi gas selama pirolisis berlangsung.

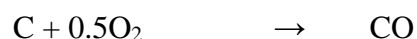
## 3) Persamaan Reaksi



Reaksi dekomposisi volatil :



Reaksi karbon :

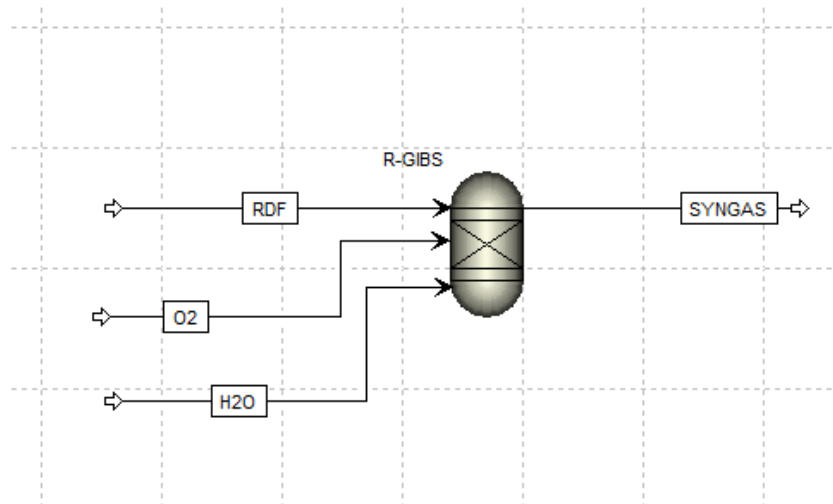




Reaksi fase gas :



e. Diagram Kerja (*Worksheet*) Reaktor *Gibbs*



Gambar 4.3. Diagram Kerja Reaktor *Gibbs* (*Aspen Plus*)

f. Parameter Masukan (Inputan)

Tabel 4.5. Parameter *Input* Pemodelan

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	<i>Temperature</i>	30 ( <i>ambient</i> )	<i>C</i>
2.	<i>Pressure</i>	1	<i>atm</i>
3.	<i>Enthalpy</i>	-0,012	<i>Gcal/hr</i>
4.	Basis	Massa	<i>Kg/hr</i>
5.	<i>Mass Flow Rate</i>	125	<i>Kg/hr</i>
6.	Kadar O2	1	<i>Kg/hr</i>
7.	Kadar Air (fase uap)	1	<i>Kg/hr</i>
8.	<i>Analisis Ultimate</i>		<i>Kg/hr</i>
9.	<i>Analisis Proximate</i>		<i>Kg/hr</i>



## B. Analisis Data

Pada penelitian ini, telah dilakukan investigasi literasi, pengujian eksperimen pada laboratorium uji dan analisis numerik menggunakan *software* komersial *Aspen Plus* V.8.8. Bahan baku analisis data adalah limbah *home industry* aren dengan 2 varian yaitu murni dan campuran (limbah aren dengan tempurung kelapa). Sampel merupakan limbah padat aren yang telah melalui proses pelletisasi RDF. Berdasarkan komposisi penyusun pellet ini tergolong pada RDF 5, yaitu RDF berupa sampah organik murni. Pengambilan data digunakan untuk menemukan parameter-parameter *performance* sebagai bahan inputan pada proses simulasi Gasifikasi. Data eksperimental telah dilakukan pada laboratorium uji TekMIRA, Bandung. Adapun parameter-parameter yang diperlukan dalam simulasi ini berupa analisis *proximate* dan analisis *ultimate*, *mass flow*, *mole flow rate*, *rasio Oxygen*, dan *temperature approach*

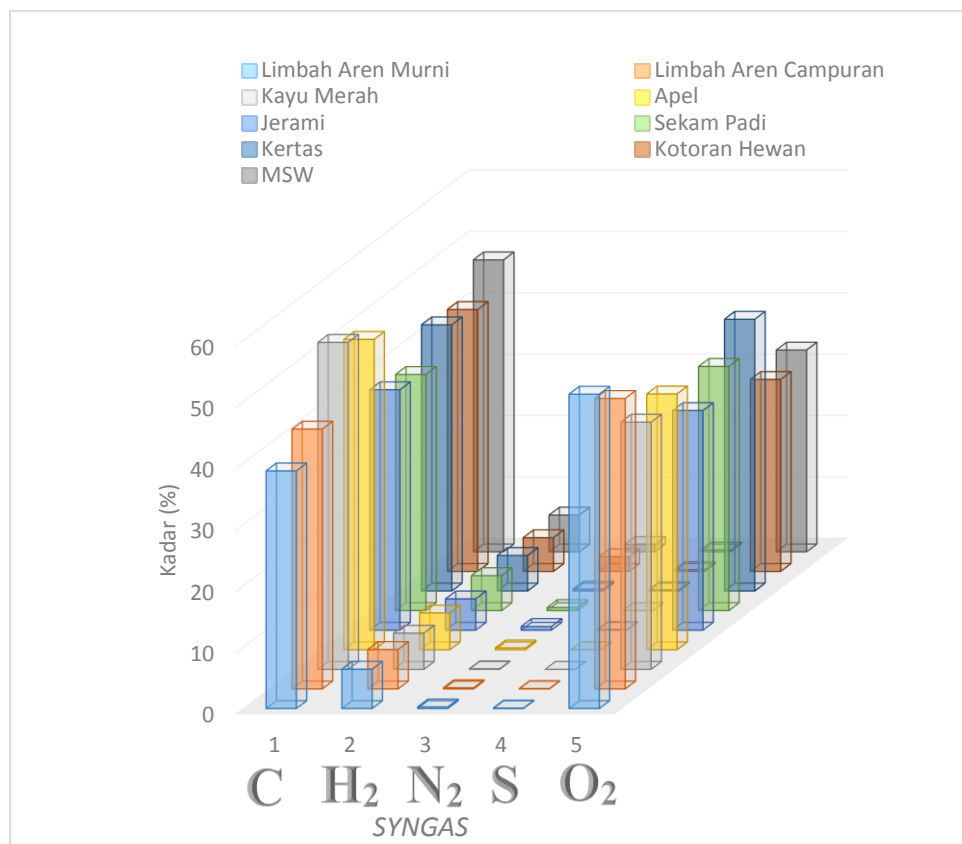
### 1. Data Hasil Pengujian

Tabel 4.6 menunjukkan data hasil pengujian yang dilakukan laboratorium uji TekMIRA terhadap kandungan gas pada *RDF 5* limbah *home industry* aren. Dilengkapi pula data hasil pengujian beberapa biomassa yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya sebagai pembanding.

Tabel 4.6. Data Hasil Pengujian

<i>Biomass</i>	<b>C</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>S</b>	<b>O<sub>2</sub></b>
Limbah Aren Murni	38,74	6,41	0,26	0,07	51,25
Limbah Aren Campuran	42,36	6,43	0,20	0,06	47,35
Kayu Merah*	53,30	5,90	0,10	0,00	40,30
Apel*	50,60	6,00	0,30	0,00	41,70
Jerami*	39,20	5,10	0,60	0,10	35,80
Sekam Padi*	38,50	5,70	0,50	0,00	39,80
Kertas*	43,40	5,80	0,30	0,20	44,30
Kotoran Hewan*	42,70	5,50	2,40	0,30	31,30
MSW*	47,60	6,00	1,20	0,30	32,90

\*Sumber data biomassa (Sun, K., 2014: 15)



Gambar 4.4. Grafik Perbedaan Komposisi Biomassa

Berdasarkan data gambar 4.4 di atas dapat dianalisis bahwa komposisi C tertinggi dimiliki oleh kayu merah (53,30 %), dan biomassa dengan C terendah dimiliki oleh sekam padi (38,50%). Komposisi C limbah aren murni dan campuran yaitu 38,74 % dan 42,36 %. Limbah aren diuntungkan dengan jumlah H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> paling dominan, namun nilai keduanya berbanding terbalik, dimana limbah aren murni memiliki O<sub>2</sub> lebih besar yaitu 51,25 %, sedangkan limbah campuran hanya 47,35 % dan limbah aren campuran memiliki kandungan H<sub>2</sub> lebih tinggi yaitu 6,43%, atau 2 % lebih banyak (6,41 %) dari limbah aren murni. Dari data yang ada dapat dianalisis pula bahwa jumlah N<sub>2</sub> dan S dari 9 biomassa tersebut tergolong rendah yaitu yaitu kisaran 0,00 – 2,40 %. Kotoran hewan menempati kadar N<sub>2</sub> terbanyak dengan 2,40 %. Kayu merah dan apel tidak memiliki kandungan S atau lebih tepatnya sangat kecil, sehingga tidak dapat terakumulasi jumlah kadarnya.

## 2. Data Hasil Simulasi

Perolehan data hasil analisis *ultimate*, merupakan faktor penting sebagai inputan proses perhitungan numerik simulasi. Hasil data *ultimate* menjadi bahan dasar perhitungan numerik proses konversi Gasifikasi pada *RDF* 5. Tabel 4.7 dan tabel 4.8 menunjukkan data komposisi *Syngas* hasil simulasi menggunakan metode perhitungan energi minimum *Gibbs*. *Mass flow* 125 *kg/hr*, diambil dari data volume maksimal pada perancangan reaktor, dimana penulis mengasumsikan reaktor terisi penuh dengan bahan bakar dan habis dalam kurun waktu satu jam. Kadar  $O_2$  dan  $H_2O$  pada kondisi standar mengacu pada penelitian Novendra, R.N., (2015: 5) mengenai simulasi energi *Gibbs* minimum.

Berdasarkan data tersebut dapat dianalisis bahwa telah dilakukan simulasi dengan variasi suhu antara  $400^{\circ}C$  s/d  $2000^{\circ}C$  dengan hasil data yang cukup signifikan. Data keluaran (*output*) dibagi atas tiga bentuk, yaitu ash (C & S yang tidak terdekomposisi), *Syngas* (Jumlah: CO,  $CO_2$ , H, dan  $CH_4$ ), dan *others* (senyawa hidrokarbon lain seperti *tar*, *chars*,  $N_2$ ,  $C_2H_6$ , dan senyawa lain dalam jumlah kecil yang tidak dapat terakumulasi). Produksi *Syngas RDF* 5 (murni) menghasilkan *Syngas* tertinggi pada suhu  $1000^{\circ}C$  dengan kadar 124,462 *kg/hr*, suhu di atasnya mengalami penurunan jumlah meski bukan degradasi berarti. Berbeda dengan *Syngas*, justru kadar abu (*ash*) mencapai titik stabil 0,896 *kg/hr* hingga mencapai  $2000^{\circ}C$ . Hal ini menunjukkan suhu tertinggi abu tidak dapat terdekomposisi kembali adalah pada suhu  $1000^{\circ}C$ . Tabel 4.6 juga menunjukkan bahwa kadar CO dan Hidrokarbon lain menunjukkan peningkatan secara signifikan dari awal suhu  $400^{\circ}C$  hingga  $2000^{\circ}C$ . Kandungan Benzene ( $C_6H_6$ ) yang dalam konteks ini disebut *tar* tidak terakumulasi oleh *software* dikarenakan jumlahnya yang sangat sedikit. Kandungan kadar air ( $H_2O$ ) mengalami fluktuasi jumlah menunjukkan perubahan fase uap (*vapor*) seiring kebutuhan konversi utama pada pembentukan *Syngas*, yaitu pengeringan, oksidasi, gasifikasi, pembakaran dan proses reduksi biomassa dari *RDF* 5. Jelasnya, data tersebut dapat dilihat melalui info tabel 4.7 di bawah ini :

Tabel 4.7. Komposisi Syngas RDF 5 (Murni)

<i>Mas Flow Rate</i> 125 kg/hr				O21 kg/hr					
<i>Mass Flow Rate Total</i> 127 kg/hr				H2O1 kg/hr					
Senyawa	Suhu ( °C )								
	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
H2	0,948	4,361	7,533	8,148	8,159	8,148	8,140	8,134	8,130
N2	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
O2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO	0,517	20,529	98,374	114,246	114,748	114,931	115,045	115,123	115,178
CO2	45,784	49,927	10,796	1,970	1,437	1,162	0,984	0,862	0,775
CH4	12,149	5,811	1,217	0,098	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
H2O	38,585	22,322	4,291	1,308	1,422	1,530	1,602	1,652	1,687
C6H6*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	27,788	22,821	3,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896
Ash	28,684	23,718	4,456	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896
Others	38,918	22,655	4,624	1,641	1,755	1,863	1,935	1,985	2,020
Syngas	59,398	80,627	117,920	124,462	124,349	124,241	124,169	124,119	124,083
stokiometry	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000

Tabel 4.8. Komposisi Syngas RDF 5 (Campuran)

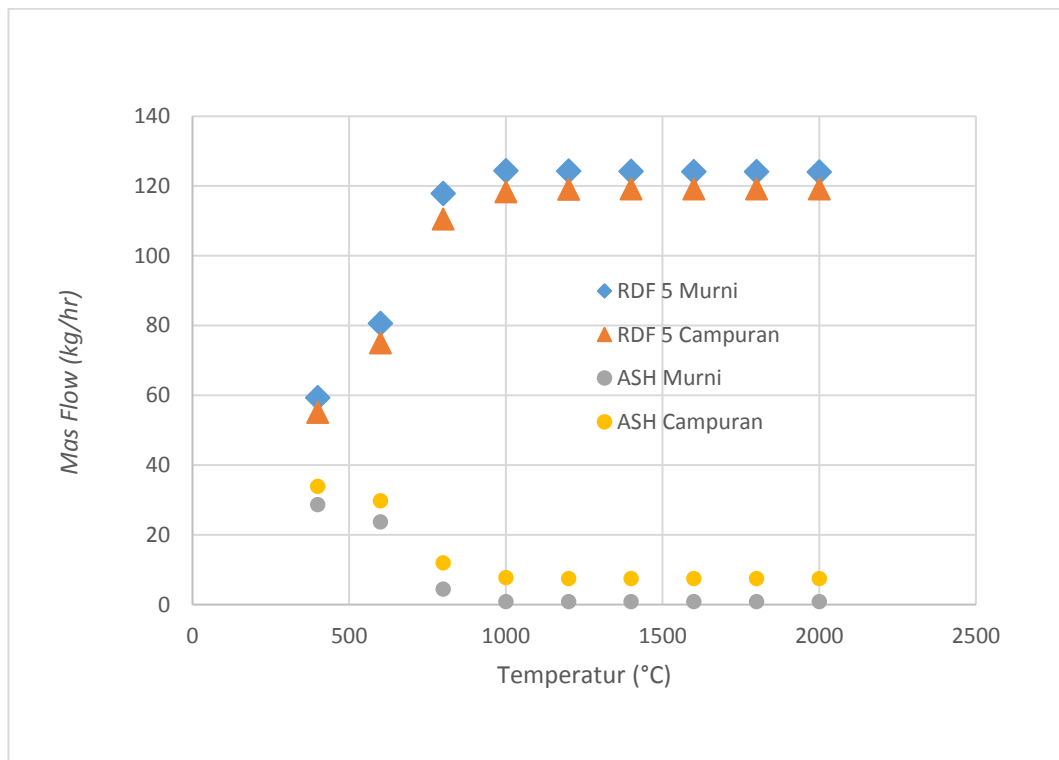
Senyawa	Suhu ( °C )								
	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
H2	0,969	4,450	7,657	8,325	8,419	8,439	8,445	8,447	8,448
N2	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259
O2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO	0,481	19,324	91,971	109,116	110,522	110,722	110,767	110,782	110,788
CO2	40,689	45,137	9,679	0,706	0,094	0,021	0,007	0,003	0,002
CH4	13,007	6,173	1,290	0,271	0,078	0,028	0,012	0,006	0,003
H2O	37,638	21,877	4,183	0,502	0,099	0,030	0,012	0,006	0,004
C6H6*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
C	33,878	29,700	11,883	7,742	7,451	7,422	7,419	7,418	7,418
ASH	33,956	29,778	11,960	7,820	7,529	7,500	7,496	7,496	7,496
Others	37,898	22,137	4,442	0,761	0,359	0,290	0,272	0,266	0,263
Syngas	55,147	75,085	110,597	118,419	119,112	119,210	119,232	<b>119,238</b>	<b>119,241</b>
stokiometry	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000	127,000

\* C6H6 = tar

Suhu T = °C

Senyawa = Kg/hr

### 3. Produksi Syngas

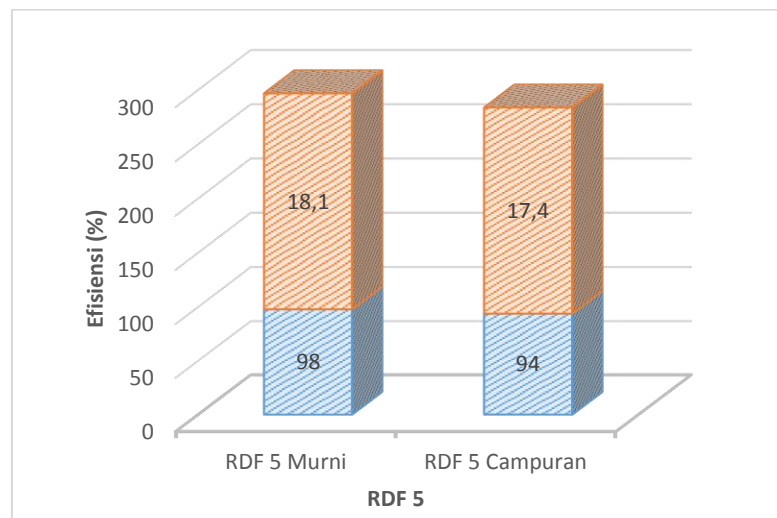


Gambar 4.5. Grafik Produksi Syngas

Proses dekomposisi abu mulai terjadi pada suhu 400°C, dimana hasil pembakaran tidak sempurna mulai nampak. Jumlah kadar abu semakin menurun seiring dengan kenaikan suhu yang terjadi. *RDF 5* murni dekomposisi abu maksimal pada angka 0,896 % pada suhu 1000°C dan terus stabil hingga suhu tertinggi. *RDF 5* Campuran puncak dekomposisi abu pada angka 7,496% pada suhu 1600°C dan terus kontan pada suhu tertinggi. Dikarenakan komposisi karbon yang sedikit menyebabkan dekomposisi abu yang sedikit, artinya *RDF 5* murni sangat potensial sebagai penghasil *Syngas* dibanding *RDF 5* Campuran.

Diketahui bahwa *home industry* aren Desa Bendo memiliki potensi limbah sebesar 18.250 ton/tahun. Jika dalam 1 kali produksi sebuah reaktor *Gasifier* dengan *mass flow rate* 125 kg/hr menghasilkan *Syngas* sebesar 124,426 kg/hr (murni) dan 119,241 kg/hr (campuran), maka dapat dihitung potensi maksimal *Syngas* per tahunnya sebesar :  $(18\,250\, \text{ton limbah aren} / 125\, \text{mass flow rate}) \times 124,426\, \text{kg/hr Syngas} = 18\,171\, \text{ton}$ , dan  $(18\,250\, \text{ton limbah aren} / 125\, \text{mass flow rate}) \times 119,241\, \text{kg/hr Syngas} = 17\,409\, \text{ton}$  per tahunnya. Hasil yang

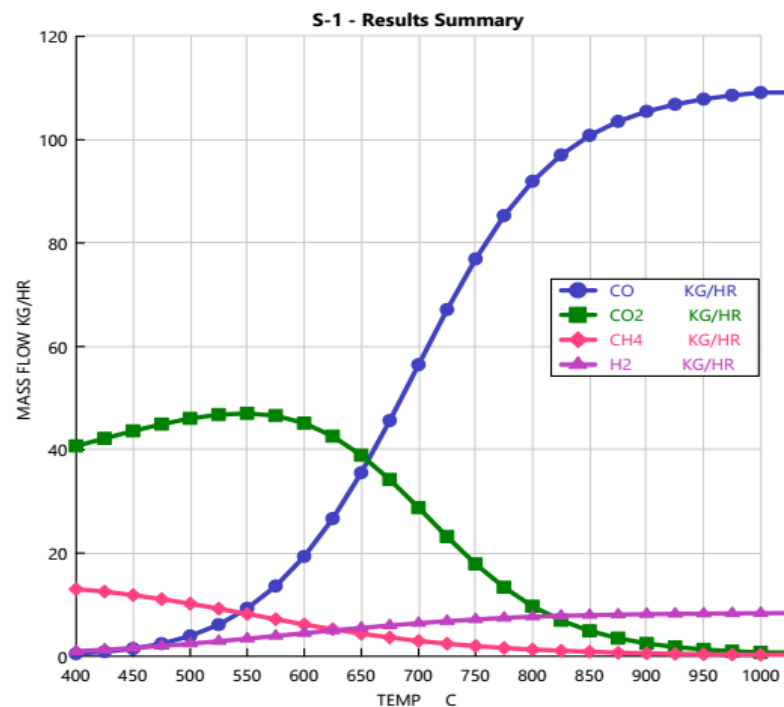
cukup fantastis untuk sebuah energi *Syngas*. Energi *Syngas* dapat langsung digunakan untuk keperluan industri (listrik, pembakaran, mekanis, dan lain-lain) atau ditampung dalam bentuk lain. Hal ini menjadi peluang industri tambahan bagi penduduk desa. Adapun efisiensi produksi *Syngas* dapat dinyatakan dalam gambar 4.6 di bawah ini:



Gambar 4.6. Grafik Efisiensi Produksi *Syngas*

#### 4. Pengaruh Suhu terhadap Produksi *Syngas*

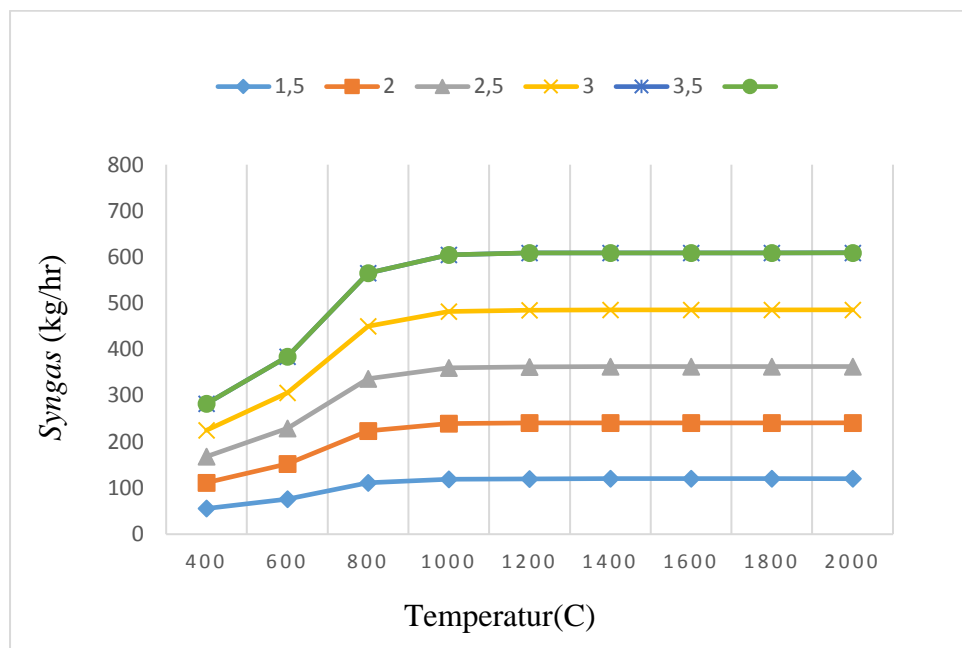
Temperatur *Gasifier* divariasikan mulai dari 400°C hingga 1000°C. Perubahan temperatur *Gasifier* memberikan efek yang dominan terhadap komposisi keluaran gas produser. Temperatur yang tinggi memberikan konversi karbon yang tinggi pula dalam membentuk gas produser. Meningkatnya temperatur *Gasifier* memberikan efek semakin meningkatnya fraksi gas CO didalam gas produser dan sepiantas menaikkan komposisi H<sub>2</sub> di dalam gas produser, hal ini menyebabkan *Heating Value* gas produser meningkat, namun pada temperatur 1000°C efisiensi Gasifikasi berjalan konstan, dimana perubahan gas CO<sub>2</sub> semakin menurun (seperti terlihat pada gambar 4.7).



Gambar 4.7. Pengaruh Suhu terhadap Komposisi *Syngas*

Komposisi yang paling dominan dalam simulasi *RDF 5* ini adalah kadar CO. Seiring bertambahnya suhu, kadar CO selalu meningkat secara signifikan. Meski kadar H<sub>2</sub> juga meningkat, kendati demikian peningkatannya relatif kecil. CO dan H<sub>2</sub> mengalami peningkatan seiring kenaikan suhu Gasifikasi. Di sisi lain, jumlah CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> terus menurun seiring kenaikan suhu. Penurunan CO<sub>2</sub> jauh lebih drastis dibanding kadar CH<sub>4</sub>. Rasio CO dan CO<sub>2</sub> mengalami perbandingan yang sama pada suhu 660°C, yaitu pada titik temu persilangan grafik di atas. Rasio H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> mengalami pertemuan silang pada suhu 625°C. Titik rasio pertemuan menunjukkan titik optimal produksi *Syngas* tiap jenis rasio gas. Hal ini dapat menjadi acuan titik suhu perengkahan molekul bagi *RDF 5* limbah aren, sehingga pengguna dapat melakukan pembatasan *steam* masukan ke reaktor pada suhu tersebut. Grafik ini sangat membantu menemukan suhu optimal melakukan Gasifikasi dengan bahan bakar biomassa *RDF 5* dari limbah aren.

## 5. Pengaruh Rasio O<sub>2</sub> terhadap Produksi Syngas



Gambar 4.8. Pengaruh Kadar O<sub>2</sub> terhadap Produksi Syngas

Oksigen (O<sub>2</sub>) memiliki pengaruh besar dalam proses konversi biomassa menjadi Syngas. Salah satu syarat terjadinya pembakaran adalah proses oksidasi oleh Oksigen, dimana ia dapat bereaksi dengan *steam* (api) untuk menjadi *flame* (nyala api). Penulis melakukan pencampuran O<sub>2</sub> dengan rasio 1 s/d 3,5 seperti pada gambar 4.10. Gambar tersebut menunjukkan bahwa produksi syngas sangat bergantung pada jumlah oksigen. Semakin besar jumlah O<sub>2</sub>, semakin besar pula jumlah Syngas yang dihasilkan. Gambar juga menunjukkan bahwa kadar Syngas meningkat dari suhu awal 400°C hingga 1200°C. Pengaruh rasio oksigen pada suhu diatas 1200°C mengalami angka stabil, dimana data menunjukkan tidak ada perubahan baik kenaikan dan penurunan komposisi Syngas pada suhu tersebut.

## 6. Potensi Energi Listrik RDF 5 Home Industry Aren Desa Bendo

Data pengujian Kalorimeter menunjukkan bahwa RDF 5 limbah aren memiliki kandungan kalor yang cukup besar, artinya potensi energi listrik yang besar pula. Pengolahan limbah dengan baik dapat menjadi nilai tambah produksi baik memangkas biaya produksi khususnya konsumsi listrik juga mengurangi



jumlah limbah yang notabnya mengganggu lingkungan ekosistem. Nilai kalor *RDF 5* limbah aren dapat dilihat pada tabel 4.9 di bawah ini :

Tabel 4.9. Nilai Hasil Uji Kalor *RDF 5* Murni dan Campuran

No.	Sampel	Nilai	Satuan
1	<i>RDF 5</i> Murni	3843	<i>kal/gram</i>
2	<i>RDF 5</i> Campuran	3950	<i>kal/gram</i>

Tingkat pemakaian bahan bakar dapat melalui perhitungan data bahan bakar padat yang masuk pada *boiler* serta *output generation* suatu pabrik. Penelitian ini menggunakan asumsi kebutuhan konsumsi bahan bakar suatu pabrik melalui literatur yang sudah ada (Tiyono, 2011: 2), yaitu sebesar 1.500 *kg* per hari dengan menghasilkan daya sebesar 510 *kW/kCal*. Dari data tersebut dapat dihitung potensi energi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{RDF 5 (Murni)} &= \text{Berat Bahan Bakar} \times \text{Nilai Kalor Bahan Bakar} \times \text{F. Konversi} \\
 &= 1.500 \text{ kg} \quad \times 3.843 \text{ kcal/kg} \quad \times 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kW/kCal} \\
 &= 9.396 \text{ kWH} \\
 &= \mathbf{9,296 \text{ MWH}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{RDF 5 (Mixed)} &= \text{Berat Bahan Bakar} \times \text{Nilai Kalor Bahan Bakar} \times \text{F. Konversi} \\
 &= 1.500 \text{ kg} \quad \times 3.950 \text{ kcal/kg} \quad \times 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kW/kCal} \\
 &= 9.657 \text{ kWH} \\
 &= \mathbf{9,657 \text{ MWH}}
 \end{aligned}$$

Desa Bendo sendiri mampu menghasilkan limbah aren murni sebesar 18.250 *ton* per tahunnya, dengan setiap 125 *kg/hr* mampu mengasilkan *Syngas* sebesar 124,462 *kg/hr RDF 5* murni dan 119,241 *kg/hr RDF 5* campuran. Maka total *Syngas* per tahun yang dapat diproduksi Desa Bendo adalah (18.250 *ton* / 125 *kg/hr*) x 124,462 *kg/hr* = 18.171 *ton RDF 5* murni dan (18.250 *ton* / 125 *kg/hr*) x 119.241 *kg/hr* = 17.409 *ton RDF 5* campuran. Dapat dikalkulasi potensi energi listrik sesungguhnya limbah aren dalam bentuk *RDF 5* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 RDF\ 5\ (Murni) &= \text{Berat Bahan Bakar} \times \text{Nilai Kalor Bahan Bakar} \times F. \text{ Konversi} \\
 &= 18.171\ 000\ kg \times 3.843\ kcal/kg \times 1,163 \cdot 10^{-3}\ kW/kCal \\
 &= 81.213.630\ Watt \\
 &= \mathbf{81\ GW/Tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RDF\ 5\ (Mixed) &= \text{Berat Bahan Bakar} \times \text{Nilai Kalor Bahan Bakar} \times F. \text{ Konversi} \\
 &= 17.409\ 000\ kg \times 3.950\ kcal/kg \times 1,163 \cdot 10^{-3}\ kW/kCal \\
 &= 79.974.334\ Watt \\
 &= \mathbf{79\ GW/Tahun}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, dapat dianalisis bahwa *RDF 5* murni menghasilkan potensi energi listrik sebesar 81 *GW/Tahun*, lebih besar dari *RDF 5* campuran sebesar 79 *GW/Tahun*. Hasil ini tidak sebanding dengan nilai kalor yang dihasilkan, kendati demikian selisihnya tidak terlalu besar. Jumlah produksi *Syngas RDF 5* murni, sebanding dengan besarnya potensi energi listrik yang dihasilkan. Semakin besar jumlah *Syngas* yang diproduksi maka semakin besar pula potensi energi listrik yang dapat dihasilkan. Analisis di atas juga menunjukkan bahwa Desa Bendo, Desa. Daleman, Kec. Tulung Kab.Klaten memiliki potensi besar terciptanya Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa dengan bahan bakar berupa pellet *RDF 5* limbah aren.

## **BAB V**

### **SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN**

#### **A. SIMPULAN**

Berdasarkan analisis data yang dilakukan penulis dapat disimpulkan bahwa *RDF 5 Murni* menghasilkan *Syngas* lebih tinggi yaitu sebesar 124, 426 *kg/hr* dan *RDF 5 Campuran* yang hanya menghasilkan 119,241 *kg/hr*. Hasil perhitungan efisiensi produksi *Syngas* juga menunjukkan bahwa *RDF 5 murni* lebih tinggi (98%) dibanding *RDF 5 campuran* (94%) dengan selisih 4%. Akan tetapi data menunjukkan nilai kalor *RDF 5 campuran* lebih besar yaitu 3,950 *kCal/gram*, dibanding nilai kalor *RDF 5 murni* yang hanya 3,843 *kCal/gram*. Jumlah produksi *Syngas* sebanding dengan besarnya potensi energi listrik yang dihasilkan yaitu 81 *GW/Tahun* untuk *RDF 5 murni* dan 79 *GW/Tahun* untuk *RDF 5 Campuran*. Dari analisis data di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa limbah aren *home industry* Desa Bendo, Kel. Daleman, Kec. Tulung, Kab. Klaten memiliki potensi energi yang besar dan layak untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif berupa pellet *RDF 5*.

#### **B. IMPLIKASI**

Berdasarkan hasil penelitian dan simpulan di atas, maka dapat dikemukakan implikasi dari penelitian yaitu : Pertama, telah diketahui bahwa *RDF 5 Murni* dari limbah aren menghasilkan *Syngas* yang lebih dominan dibanding *RDF 5 Campuran*, sehingga dapat memudahkan pengembangan lebih lanjut tanpa perlu melakukan variasi komposisi dalam pembuatan *RDF 5* karena hasil dengan tanpa campuran (murni) sudah cukup tinggi. Kedua, Suhu memiliki faktor penting dalam proses dekomposisi bahan bakar menjadi *Syngas* sehingga dapat menjadi catatan khusus dalam melakukan eksperimen agar lebih maksimal. Ketiga, diketahuinya kualitas *Syngas* dipengaruhi oleh rasio Oksigen dan bahan bakar akan menentukan pada jenis *Blower* serta variasi yang baik dengan demikian proses Gasifikasi bahan bakar dapat berjalan optimal.

### C. SARAN

Penulis dalam melakukan penelitian skripsi ini mengakui sepenuhnya adanya kekurangan baik dari sisi analisis hasil maupun segi penulisan proposal. Beberapa saran dari penulis agar dapat menjadi bahan evaluasi penelitian serupa untuk ke depannya, yaitu perlunya melakukan analisis kalor dengan membandingkan nilai HHV dan LHV yang diketahui langsung saat uji nilai kalor menggunakan Kalorimeter *Borm* pada laboratorium uji. Perlu dilakukan analisis pengaruh *steam* terhadap produksi *Syngas*, hal ini mengacu pada pentingnya *steam* sebagai *start up* proses Gasifikasi. Perlu dilakukan penelitian eksperimen sebagai pembuktian atas hasil simulasi, diikuti melakukan rekam data secara masif agar dapat menganalisis hasil secara lengkap dan runtut, sehingga data lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Emun, F., Gadalla, M., Majozi, T., and Boer, D. (2010). Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Process Simulation and Optimization. *Comput. Chem. Eng.* 2010, 34, 331–338.
- Ernawati, Jujuk dan Putra, Aji Y.K. (2017, 15 Maret ). *Indonesia Hasilkan 65 Juta Ton Sampah Selama 2016. Dilansir dari :* <http://nasional.news.viva.co.id/news/read/894458-indonesia-hasilkan-65-juta-ton-sampah-selama-2016> Pada Rabu 16 maret 2017, pukul 20.00 WIB.
- Ghofar, A., Sitorus, R.S., Destian, E.F., Tjahjono, E.W., Ismail, M., Tandirerung, M., and Paramitasari, D. (2017). *Simulasi Dan Estimasi Kebutuhan Energi Sistem Gasifier Dengan Bahan Baku Batubara Sumsel Dan Kalsel*. Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia, P-ISSN 1410-3680 / E-ISSN 2541-1233, M.P.I. Vol.11 No 1, April 2017 – (61-68).
- Grehenson, Gusti. (2013). *Briket dari Ampas Aren*. Diunduh dari : <https://www.ugm.ac.id/id/berita/7931-briket.dari.ampas.aren>. Pada Minggu 23 Juli 2013, pukul 14.52.
- Hantoko, Dwi., dkk. (2015). *Simulasi Termodinamika Perengkahan Tar pada Keluaran Fixed Bed Gasifier*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”: UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Kishore, Anand K & Ramanjaneyulu, K.A.V. (2015). Simulation of Biomass Gasification in *Fluidized Bed* Using Aspen Plus. *6<sup>th</sup> International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2015)*, Sept. 13-14, 2015 Dubai (UAE)
- Lasut, Marthen T. (2012). *Budidaya yang Baik AREN (Arenga pinnata (Wurmb) Merr)*. Universitas Sam Ratulangi : Sulawesi Utara.
- Lempang, Mody. (2012). *Pohon Aren dan Manfaat Produksinya*. Info Teknis EBONI, Vol. 9 No.1 : 37-54.
- Liu, J., Paode, R., and Holsen, T. (1996). Modeling The Energy Content Of Municipal Solid Waste Using Multiple Regression Analysis. *Journal of Air Waste Management*. 46, 650–656.

- Novendra, Rio N., Helwani, Z., Helianty, S., Zulfansyah. (2015). *Pemodelan dan Simulasi Kinerja Downdraft Gasifier Menggunakan Teknik Minimisasi Energi Bebas Gibbs*. Universitas Riau : Riau.
- Nugraheni, R.S., Prasetya, A., Sihana. (2013). *Processing Biochar from Solid Waste of Arenga Pinnata Flour Industry*. UPN “Veteran” Yogyakarta, Volume 11, Nomor 1, Juni 2013.
- Ramzan, N., Ashraf, A., Naveed, S., and Malik,. (2011). Simulation of hybrid biomass gasification using Aspen plus: A comparative performance analysis for food, municipal solid and poultry waste. *Biomass Bioenergy*, 35, 3962–3969.
- Preciado, Jorge. (2012). Simulation of Synthesis Gas Production from Steam Oxygen Gasification of Colombian Coal Using Aspen Plus. *Journal of energies*, 5, 4924-4940.
- Reimers, C., Tremblay, D., Lakshmanan, A., and Dymont, J. (2014). Solids Modeling in Aspen Plus. Aspen Technology, Inc. AspenTech: USA.
- Rezaiyan, John and Cheremisinoff, Nicholas P. (2005). Gasification Technologies, A Primer For Engineers And Scientist. *Taylor & Francis Group LCC*, Francis.
- Sari, Anugrah Juwita. (2012). *Potensi Sampah TPA CIPAYUNG sebagai Bahan Bakar RDF (Refuse Derived Fuel)*. Skripsi : Universitas Indonesia
- Simanungkalit, S.P., Mansur, D., dan Rinaldi, N., (2015). *Simulasi Pengaruh Ukuran Partikel dan Equivalence Ratio dalam Proses Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit*. JKTI-LIPI: Jakarta.
- Sun, Ke. (2014). Optimiztion of Biomass Gasification Reactor Using Aspen Plus. *Master’s Thesis of Telemark University College* : Norwegia.
- Sudarsono, Huda, S., Yuniwati, M., and Purnawan. (2013). *Pemanfaatan Limbah Serat Pati Aren sebagai Material Komposit – Poliester*. Institut Sains & Teknologi Akprind: Yogyakarta.
- Tiyono. (2011). *Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit PKS Ngabang Sebesar 110 kW/Ton Sawit per Jam*. Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Vol. 4 No. 2 Juni 2011.